

DISAIN PERBANDINGAN KARAKTERISTIK TURBIN SNAIL-LIE 4 SNAIL DAN 8 SNAIL PADA *PROTOTYPE* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)

Ida Bagus Dwiki Dharma Putra¹, Lie Jasa², I Wayan Arta Wijaya³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.

Email Gusdwi123@gmail.com¹, Liejasa@unud.ac.id², artawijaya@unud.ac.id³

Abstrak

Indonesia termasuk wilayah yang memiliki sumber energi terbarukan yang berpotensi antara lain sumber energi tenaga air yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Masalah utama dari pembangkit tenaga air adalah debit air yang mengalir tidak kontinyu sepanjang tahun. Sebuah mikro hidro yang ditempatkan pada lokasi tertentu diperlukan turbin yang sesuai dengan karakteristik lokasi yang ada. Dalam penelitian ini dirancang turbin untuk mendapatkan turbin model Snail-Lie jenis baru yang mengakomodir semua parameter lokasi yang ada. Pada turbin ini terdapat variasi berupa celah atau ruang disetiap sudu tertentu untuk menjebak air sehingga dapat memperbesar torsi, dimana torsi ini akan berpengaruh ke *output* turbin. Metode penelitian yang dilakukan adalah menemukan model matematis turbin Snail-Lie 4 Snail dan 8 Snail, membuat prototipe model untuk diuji di laboratorium, membuat model turbin Snail-Lie yang sebenarnya untuk uji coba lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan jumlah snail dari 4 snail ke 8 snail menyebabkan kinerja turbin semakin meningkat, hal ini dikarenakan jumlah snail akan memengaruhi kinerja turbin, sebab fungsi snail sebagai penjebak air agar dapat dijadikan daya dorong turbin ketika berotasi. *Output* tertinggi yang didapatkan yaitu pada posisi nozzle 0° dan sudut nozzle 20° menggunakan tubin snail-lie 8 snail yang menghasilkan putaran turbin 166,9 rpm, putaran generator 1086,8 rpm, tegangan generator 0,707 volt, daya generator 0,189 watt, dan torsi sebesar 0,01 Nm, serta efisiensi 20,8%. Rendahnya nilai efisiensi yang didapatkan pada sistem yaitu 20,8% dikarenakan air yang masuk ke dalam turbin tidak menyeluruh, terjadinya slip pada turbin yang terkopel dengan generator melalui tali kipas dan generator memiliki efisiensi tersendiri.

Kata kunci: Turbin, Mikro hidro, Jumlah Snail, Turbin Snail-Lie 4 Snail, Turbin Snail-Lie 8 Snail

Abstract

Indonesia is one of the regions with potential renewable energy sources, including hydropower, namely the Micro Hydro Power Plant (PLTMH). The main problem with hydropower is the flow of water that does not flow continuously throughout the year. A micro hydro that is placed in a certain location requires a turbine in accordance with the characteristics of the existing location. In this study, a turbine was designed to obtain a new type of Snail-Lie turbine that accommodates all existing location parameters. In this turbine, there are variations in the form of gaps or spaces in each particular blade to trap water so that it can increase the torque, where this torque will affect the turbine output. The research method used is to find mathematical models of the Snail-Lie 4 Snail and 8 Snail turbines, make a prototype model to be tested in the laboratory, make a real Snail-Lie turbine model for field trials. The results showed that the addition of the number of snails from 4 snails to 8 snails caused the turbine's performance to increase, this is because the number of snails will affect the performance of the turbines, because the snail functions as a water trap so that it can be used as thrust for the turbine when it rotates. The highest output obtained is at the nozzle position 0° and the nozzle angle of 20° using a snail-lie 8 snail tubing which produces 166.9 rpm turbine rotation, 1086.8 rpm generator rotation, 0.707 volt generator voltage, 0.189 watt generator power, and torque amounting to 0.01 Nm, and an efficiency of 20.8%. The low efficiency value obtained in the system is 20.8% because the water entering the turbine is not comprehensive, the slip occurs in the turbine that is coupled with the generator through the fan rope and the generator has its own efficiency.

Keywords: Turbine, Micro hydro, Number of Snail, Turbine Snail-Lie 4 Snail, Turbine Snail-Lie 8 Snail

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki berbagai ragam potensi sumber daya yang dapat diperbaharui namun sebagian besar potensi tersebut belum dikembangkan dengan baik. Jawa dan Bali merupakan dua pulau dengan karakteristik demografis yang sedikit berbeda dengan wilayah lainnya. Bali khususnya adalah pulau kecil dengan jumlah penduduk lebih dari 3,8 juta. Berkaitan dengan hal tersebut, Pulau Bali membutuhkan pembangkit listrik yang dapat diperbaharui atau tenaga tambahan yang berasal dari sumber lainnya [1]. Saat ini, sejumlah sumber daya lebih banyak berasal dari bahan bakar minyak, namun untungnya Bali memiliki wilayah perairan yang sangat luas. Wilayah perairan tersebut dapat dikembangkan dan dimanfaatkan untuk sumber daya pembangkit listrik salah satunya yaitu mikrohidro.

Mikrohidro merupakan salah satu sumber daya energi yang dapat diperbaharui dengan menghasilkan energi bersih serta ramah lingkungan. Mikrohidro dapat berfungsi dengan baik jika terdapat sumber daya air mengalir dengan kapasitas dan ketinggian yang mencukupi. Saat ini, terdapat dua mikrohidro yang sudah beroperasi di Bali dengan daya tidak lebih dari 25 Kw [2]. Selanjutnya mikrohidro akan dikembangkan dengan daya tidak lebih dari 100 kw di daerah yang masih minim akses listrik dengan memanfaatkan aliran air untuk membantu menciptakan energi listrik yang lebih berkualitas bagi penduduk setempat [3]. Salah satu mikrohidro yang sudah beroperasi dan dikembangkan hingga saat ini adalah kawasan subak Jatiluwih. Pembangunan tersebut menggunakan bantuan sumber energi air disekitarnya untuk dapat memberikan penerangan lampu jalan di daerah Jatiluwih yang juga merupakan daerah pariwisata. Hingga saat ini mikrohidro tersebut masih dikelola oleh subak setempat [4].

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan

jumlah debit air. Energi listrik yang dihasilkan dari PLTMH berasal dari generator yang terkopel dengan sebuah *runner* yang biasa disebut dengan turbin. Jenis-jenis turbin yang digunakan untuk PLTMH terdiri dari dua yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls merupakan turbin yang menggunakan tekanan air dari sudut *nozzle* untuk menggerakkan *runner*, sedangkan turbin reaksi merupakan turbin yang murni menggunakan pergerakan air untuk memutar *runner* [5].

Penelitian ini membahas tentang turbin model baru yaitu turbin Snail-Lie dimana turbin tersebut merupakan modifikasi dari penelitian turbin sebelumnya yaitu turbin Nest-lie [6]. Turbin Snail-lie menggunakan jenis sudu yang sama dengan turbin Nest-lie yaitu sudu segitiga dengan jumlah sudu sebanyak 16 sudu. Pada turbin ini terdapat penambahan variasi yang sama seperti turbin Nest-lie yaitu berupa celah atau ruang di setiap sudu tertentu. Akan tetapi celah atau ruang pada turbin Snail-lie tersebut berbentuk seperti sirip yang dinamakan Snail. Snail tersebut difungsikan agar mendapatkan hasil yang lebih efektif dengan kecepatan putar lebih besar dan tegangan keluaran lebih besar.

Dalam penelitian diusulkan untuk menemukan sebuah karakteristik mikro hidro yang ideal dalam sebuah pembangkit skala kecil yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, merupakan usaha nyata untuk mencari sumber energi baru. Mikro hidro yang diuji coba menggunakan turbin Snail-Lie 4 snail dan turbin Snail-Lie 8 snail yang memiliki sudu sebanyak 16 buah berdiameter 50 cm. Parameter yang dapat diubah untuk meningkatkan efisiensi turbin adalah jumlah snail turbin, volume snail turbin, sudut *nozzle*, dan posisi *nozzle*.

2.2 KAJIAN PUSTAKA

2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan

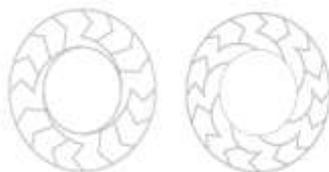
(head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (head). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik [7].

2.1.2 Desain Turbin Snail-Lie

Turbin Snail – Lie terbuat dari bahan akrilik yang menggunakan jenis sudu segitiga dengan jumlah 16 sudu. Turbin Snail-Lie dibuat dalam bentuk sama seperti turbin Nest-Lie akan tetapi yang pada turbin Snail-lie terdapat snail seperti ruang yang berada pada sisi lingkaran dalam pada dasar dari posisi sudu. Snail atau ruang ini bertujuan agar air yang masuk melalui sudu, nantinya diharapkan agar masuk ke dalam ruang turbin Snail-lie, sehingga air terjebak didalam ruang turbin akan meningkatkan torsi.



Gambar 1. Desain Snail-Lie



Gambar 2. Turbin Snail-Lie 4 Snail dan Turbin Snail-Lie 8 Snail

2.1.3 Snail pada Turbin Snail-Lie

Pada turbin Snail-Lie terdapat celah-celah yang dinamakan snail dengan tujuan agar air yang masuk melalui sudu, nantinya diharapkan agar masuk ke dalam snail atau ruang turbin Snail-Lie, sehingga air tersebut diam atau terjebak di snail pada turbin Snail-Lie. Volume air yang terjebak akan meningkatkan torsi akibat turbin yang berputar secara terus menerus.

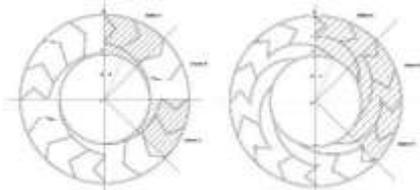
Gambar 3. Snail Turbin Snail-Lie

Snail tersebut dapat dirumuskan dengan:

$$L_{snail} = \frac{r_2 - r_1}{8} \text{ atau } \frac{PR - PQ}{8} \dots\dots\dots(1)$$

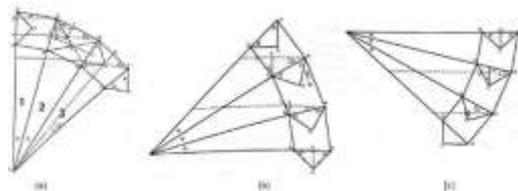
2.1.4 Rumus Turbin Snail-Lie

Pada Gambar 4 merupakan desain turbin Snail-Lie 4 snail dan 8 snail dapat dilihat bahwa snail pada turbin yang berpotensi terisi air yaitu sektor A dan C pada turbin Snail-Lie 4 Snail, sedangkan untuk turbin Snail-Lie 8 snail dapat dilihat bahwa snail pada turbin berpotensi terisi air adalah pada sektor A, B, dan C.



Gambar 4. Turbin Snail-Lie 4 Snail dan Turbin Snail-Lie 8 Snail

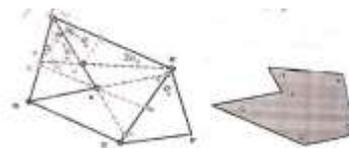
Untuk mendapatkan rumus Turbin Snail-Lie diperlukan pembagian sektor yaitu sektor A, B, dan C lalu dijumlahkan dengan rumus Snail pada Persamaan 1. Sektor tersebut adalah bagian yang berpotensi terisi air. Berikut merupakan skema pembagian sektor Turbin Snail-Lie [8].



Gambar 5. Pembagian Sektor A, B, dan C [8]

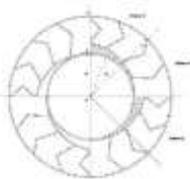
Berikut merupakan perumusan Snail-lie 8 Snail:

1. Perhitungan sektor A



Gambar 6. Luas Daerah Sektor A [8]

a. Luas Kondisi 1 = $\{2 \times \sin 2 \frac{1}{2} \alpha \times \tan(90-\theta) \times [(PR^2 + PQ^2) - \frac{1}{2} \times (PR + PQ)] - \frac{1}{2} \times \sin \frac{1}{2} \alpha \times (PR + PQ) \times QR$



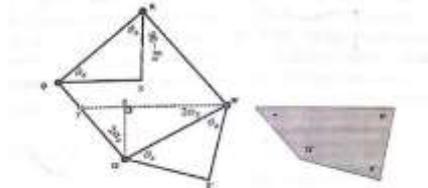
$$x \{ \tan(90 - \theta) \times \tan \theta + 1 \} + \frac{1}{4} QR^2 \times \tan \theta \} + \{ 0,25 \times QR \times \tan \theta \}$$

b. Luas Kondisi 2= $[\frac{1}{2} \sin \frac{1}{2} \alpha A (PR + PQ) QR (\tan(90 - \theta A) \tan \theta A + 1)]$

c. Luas Kondisi 3= $\frac{(PR)^2 \sin \frac{1}{2} \alpha A [\cos \alpha A - \cos \alpha (\theta A + \alpha A) \sin(90 - \theta A)]}{\cos(\theta A + \alpha A)}$

Maka luas sektor A adalah $(Luas 1 + Luas 2 + Luas 3) + \frac{PR-PQ}{8} \dots \dots \dots (2)$

2. Perhitungan Sektor B



Gambar 7. Luas Daerah Sektor B [8]

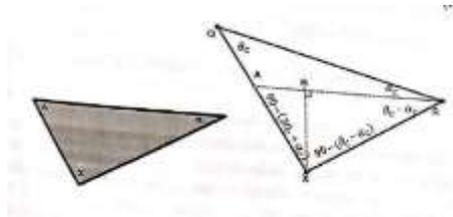
a. Luas Kondisi 1= $[0,25 \times [Q'R']^2 \times \tan \theta B] + [0,5 \times [Q'R']^2 \times \tan 2\alpha B]$

b. Luas Kondisi 2= $[0,25 \times [Q'R']^2 \times \tan \theta B] + [0,5 \times [Q'R']^2 \times \tan \alpha B]$

c. Luas Kondisi 3= $\frac{1}{4} (QR)^2 \tan \theta B$

Maka luas sektor B adalah $(Luas 1 + Luas 2 + Luas 3) + \frac{PR-PQ}{8} \dots \dots \dots (3)$

3. Perhitungan sektor C



Gambar 8. Luas Daerah Sektor C [4]

a. Luas kondisi 1= $\frac{(QR)^2}{8 \cos^2 \theta C} (\sin^2(\theta C - \theta A) \tan \theta C + \sin(\theta C - \theta A) \cos(\theta C - \theta A))$

b. Luas kondisi 2 = $\sin^2(\theta C - \theta A)$
 $= XB/XR$
 $= XR \times \cos(\theta C - \theta A)$

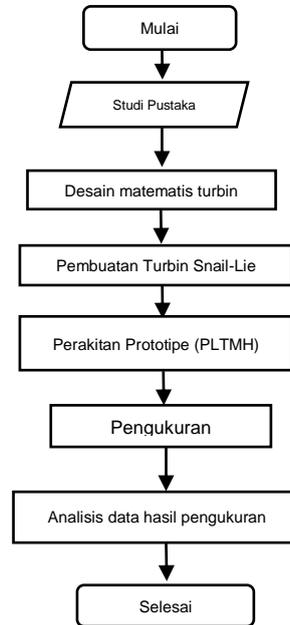
Maka luas Sektor C adalah $Luas 1 + Luas 2 + \left(\frac{PR-PQ}{8}\right) \dots \dots \dots (4)$

Dari rumus diatas, yang membedakan antara turbin Snail-lie 4 snail dengan turbin Snail-lie 8 Snail adalah pada sektor B dimana pada snail 4 tidak dijumlahkan dengan rumus snail yaitu pada persamaan 1 karena tidak terdapat snail yang berpotensi terisi air.

3. Metode Penelitian

3.1 Tahap Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Diagram Alur Penelitian

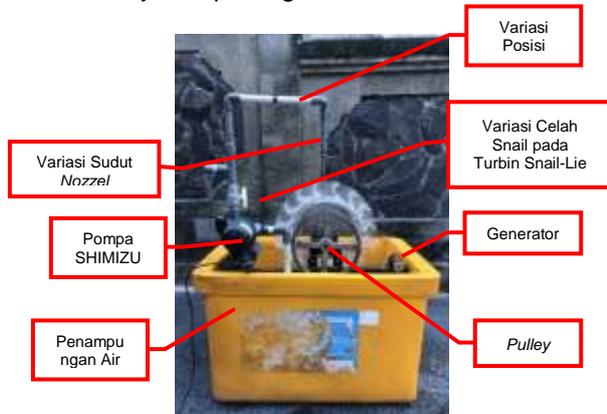
Dalam usulan penelitian ini langkah-langkah detail yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi pustaka
Mencari referensi pendukung melalui buku, jurnal, dan sumber lainnya.
2. Desain Matematis Turbin
Melakukan dan menemukan desain matematis dari turbin Snail-Lie dengan pembagian dan perhitungan sektor pada Persamaan 2, 3, dan 4
3. Pembuatan Turbin Snail-Lie
Menentukan diameter turbin dari perhitungan yang sudah dilakukan
4. Perakitan Prototipe
Melakukan perakitan dimulai dari turbin, pengaturan posisi *nozzle*, dan sudut *nozzle*
5. Pengukuran
Melakukan pengukuran RPM, arus, dan tegangan yang ditentukan oleh posisi *nozzle* dan sudut *nozzle* pada prototipe PLTMH turbin Snail-Lie dalam kondisi berbeban yaitu generator dipasangkan beban berupa lampu 2,5 volt menggunakan tachometer dan multimeter
6. Analisis data

Analisis data hasil pengukuran untuk mendapatkan parameter-parameter turbin yang optimal

4. Hasil dan Pembahasan
4.1 Hasil Perancangan Tempat Pengujian

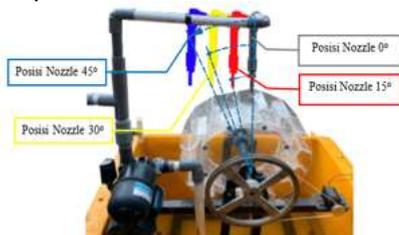
Perancangan alat uji pada prototipe PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) dengan menggunakan Turbin Snail-Lie terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu turbin Snail-Lie dengan variasi snail, variasi sudut tembak *nozzle*, dan penampungan air. Hasil rancangan alat uji ini ditunjukkan pada gambar 8 berikut



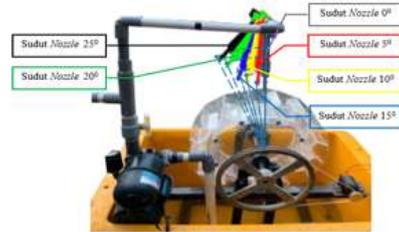
Gambar 10. Realisasi Hasil Rancangan PLTMH

4.2 Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle

Pada Gambar 10 terdapat parameter pengukuran dan pengujian yang dilakukan meliputi pengukuran kecepatan putaran turbin, kecepatan putaran generator, arus dan tegangan yang dihasilkan generator, sedangkan pengujian dilakukan terhadap perbandingan jumlah Snail pada Turbin Snail-Lie dengan jumlah 8 snail dan 4 snail. Kedua turbin ini mendapatkan perlakuan pengujian yang sama dengan mengubah variasi posisi *nozzle* sebesar 0° , 15° , 30° , 45° dan sudut *nozzle* sebesar 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° . Gambar 11 dan 12 merupakan gambar variasi posisi *nozzle* dan sudut *nozzle*.



Gambar 11. Variasi Peletakan Posisi Nozzle

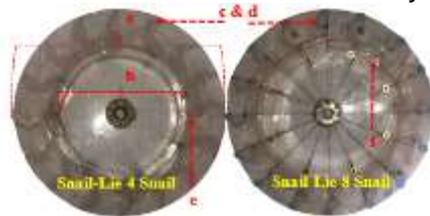


Gambar 12. Variasi Peletakan Sudut Nozzle

4.3 Hasil Perancangan Turbin Snail-lie

Turbin Snail-Lie yang dirancang digunakan sebagai aktuator atau penggerak dari generator untuk menghasilkan energi listrik. Pada perancangan ini tipe turbin Snail-Lie yang digunakan adalah tipe Turbin Snail-Lie dengan jumlah 4 snail dan tipe Turbin Snail-Lie dengan jumlah 8 snail. Berikut spesifikasi turbin Snail-Lie 4 dan 8 snail serta gambar model turbin yang dirancang. Berikut spesifikasi turbin:

- a. Diameter Luar Turbin : 25 cm
- b. Diameter Dalam Turbin : 17 cm
- c. Jumlah Sudu Turbin Snail-Lie 1: 16 buah
- d. Jumlah Sudu Turbin Snail-Lie 2: 16 buah
- e. Jumlah Snail Turbin Snail-Lie 1: 4 buah
- f. Jumlah Snail Turbin Snail-Lie 2: 8 buah
- g. Material Turbin : Acrylic



Gambar 13. Realisasi Turbin Snail-Lie 4 dan 8 Snail

4.4 Perbandingan Perhitungan dengan Pengukuran Volumer Air pada Tiap Sektor Turbin

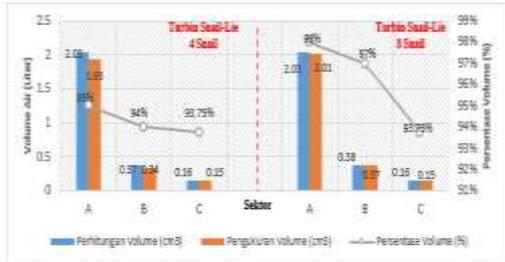
Perbandingan hasil perhitungan yang menggunakan Persamaan 2, 3, dan 4 dengan pengukuran pada volume sudu tiap sektor dilakukan untuk mengetahui pengaruh snail dan besarnya air yang terdapat pada sektor. Berikut merupakan tabel dari perbandingan perhitungan dengan pengukuran volume air tiap sektor.

Tabel 1. Data Perbandingan Perhitungan dengan Pengukuran

Tipe Turbin	Sektor	Perhitungan Volume Sektor (L)	Pengukuran Volume Sektor (L)	Persentasi Vol. Tertampung
SNAIL-LIE 4 SNAIL	A	2.03	1.93	95%
	B	0.37	0.34	94%
	C	0.16	0.15	93,75%
SNAIL-LIE 8 SNAIL	A	2.03	2.01	98%
	B	0.38	0.37	97%

	C	0,16	0,15	93,75%
--	---	------	------	--------

Dari tabel diatas bahwa persentase tertinggi antara Turbin Snail-Lie 4 Snail dengan Turbin Snail-Lie 8 Snail didapatkan Sektor A memiliki persentase sektor tertinggi pada kedua jenis turbin. Hal ini dikarenakan sektor A menjadi Sektor Prime Mover dari pergerakan turbin yang dikenai banyak air



Gambar 14. Grafik Hubungan Kecepatan Turbin dengan Daya Generator

4.5 Hasil Pengukuran Putaran Turbin dan Generator pada 4 Snail

Pengukuran dilakukan dengan variasi posisi nozzle dan sudut nozzle. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali sehingga nilai dari pengukuran kecepatan putaran turbin dan generator dilakukan dengan 10 kali pengambilan sampel.



Gambar 15. Skema Pengujian Kecepatan Putaran Turbin dan Generator 4 Snail

$$\text{RPM Turbin rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

$$\text{RPM Turbin} = \frac{(157 + 157 + 158 + 157 + 158 + 159 + 157 + 158 + 157 + 157)}{10}$$

$$\text{RPM Turbin} = 157,5 \text{ rpm}$$

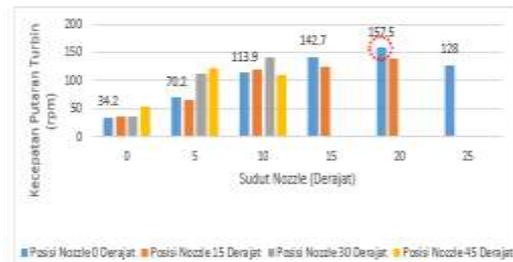
Berikut hasil pengukuran putaran turbin dan generator:

Data hasil pengukuran pada Tabel 2 merupakan data hasil rata-rata pengukuran dari sepuluh kali pengambilan

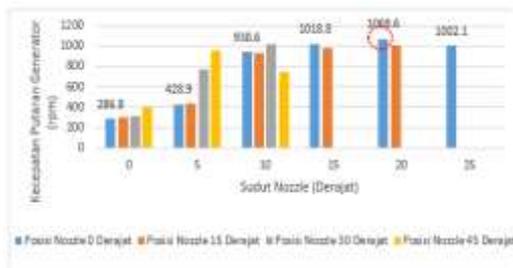
NO	POSISI NOZZLE	SUDUT NOZZLE	RPM TURBIN	RPM GENERATOR
1	0°	0°	34,2	286,8
		5°	70,2	428,9
		10°	113,9	938,6
		15°	142,7	1018,8
		20°	157,5	1069,6
		25°	128,6	1002,1
2	15°	0°	35,8	304,3
		5°	64,5	432,7
		10°	120,4	934,5
		15°	125,5	977,9
		20°	138,1	1008,6
		25°	37,3	309,3
3	30°	0°	113,4	768,2
		5°	142,2	1012,1
		10°	53,4	398,3
4	45°	0°	122,2	957,9
		5°	109,9	746,8
		10°		

sampel pada setiap variasi posisi dan sudut nozzle pada Turbin Snail-Lie 4 Snail. Berikut merupakan grafik pengaruh variasi posisi dan sudut nozzle terhadap kecepatan putaran turbin dan generator

Tabel 2. Hasil Pengukuran Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle pada turbin Snail-Lie 4 Snail



Gambar 16. Grafik Kecepatan Putaran Turbin 4 Snail



Gambar 17. Grafik Kecepatan Putaran Generator 4 Snail

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa pengaruh posisi dan sudut nozzle memengaruhi putaran turbin dan generator, pada grafik 16 dan grafik 17 didapatkan putaran turbin dan generator tertinggi berada pada posisi nozzle 0° dengan sudut nozzle 20° sebesar 157,5 rpm dan 1069,6 rpm, ditandai dengan lingkaran merah.

4.6 Hasil Pengukuran Putaran Turbin dan Generator pada 8 Snail

Pengukuran dilakukan dengan variasi posisi *nozzle* dan sudut *nozzle*. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali sehingga nilai dari pengukuran kecepatan putaran turbin dan generator dilakukan dengan 10 kali pengambilan sampel.



Gambar 18. Skema Pengujian Kecepatan Putaran Turbin dan Generator 8 Snail

$$\text{RPM Turbin rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

$$\text{RPM Turbin} = \frac{(157 + 157 + 158 + 157 + 158 + 159 + 157 + 158 + 157 + 157)}{10}$$

$$\text{RPM Turbin} = 157,5 \text{ rpm}$$

Dari hasil pengukuran yang dilakukan maka didapat data sebagai berikut

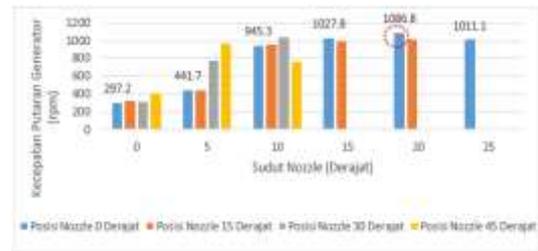
Tabel 3. Hasil Pengukuran Posisi *Nozzle* dan Sudut *Nozzle* pada Turbin Snail-Lie 8 Snail

NO	POSISI NOZZLE	SUDUT NOZZLE	RPM TURBIN	RPM GENERATOR
1	0°	0°	36,7	297,2
		5°	74,6	441,7
		10°	121,7	945,3
		15°	146,2	1027,8
		20°	166,9	1086,8
		25°	138,3	1011,1
2	15°	0°	37,9	315,2
		5°	69,8	436,5
		10°	131,1	949,5
		15°	137,5	982,9
		20°	148,3	1018,3
3	30°	0°	38,1	311,4
		5°	118,9	775,8
		10°	148,2	1032,1
		0°	61,2	406,2
4	45°	5°	135,2	967,8
		10°	115,5	763,4

Data hasil pengukuran pada Tabel 3 merupakan data hasil rata-rata pengukuran dari sepuluh kali pengambilan sampel pada setiap variasi posisi dan sudut *nozzle* pada Turbin Snail-Lie 8 Snail. Berikut merupakan grafik pengaruh variasi posisi dan sudut *nozzle* terhadap kecepatan putaran turbin dan generator



Gambar 19. Grafik Kecepatan Putaran Turbin 8 Snail



Gambar 20. Grafik Kecepatan Putaran Generator 8 Snail

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa pengaruh posisi dan sudut *nozzle* memengaruhi putaran turbin dan generator, pada grafik 19 dan grafik 20 didapatkan putaran turbin dan generator tertinggi berada pada posisi *nozzle* 0° dengan sudut *nozzle* 20° sebesar 166,9 rpm dan 1086,8 rpm, ditandai dengan lingkaran merah.

4.7 Analisa Perbandingan Kecepatan Putaran Turbin dan kecepatan Putar Generator Turbin Snail-Lie 4 snail dan 8 Snail

Perbandingan data hasil pengukuran kecepatan putar turbin dan kecepatan putar generator turbin Snail-Lie 4 Snail dan 8 Snail dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Perbandingan Kecepatan Turbin Terhadap Tegangan Generator ke-2 Turbin

NO	POSISI NOZZLE	SUDUT NOZZLE	RPM TURBIN		RPM GENERATOR	
			4 snail	8 snail	4 Snail	8 Snail
1	0°	0°	34,2	36,7	286,8	297,2
		5°	70,2	74,6	428,9	441,7
		10°	113,9	121,7	938,6	945,3
		15°	142,7	146,2	1018,8	1027,8
		20°	157,5	166,9	1069,6	1086,8
		25°	128,6	138,3	1002,1	1011,1
2	15°	0°	35,8	37,9	304,3	315,2
		5°	64,5	69,8	432,7	436,5
		10°	120,4	131,1	934,5	949,5
		15°	125,5	137,5	977,9	982,9
		20°	138,1	148,3	1008,6	1018,3
3	30°	0°	37,3	38,1	309,3	311,4
		5°	113,4	118,9	768,2	775,8
		10°	142,2	148,2	1012,1	1032,1
		0°	53,4	61,2	398,3	406,2
4	45°	5°	122,2	135,2	957,9	967,8
		10°	109,9	115,5	746,8	763,4

Dari Tabel 4 diatas dapat dilihat bahwa Turbin Snail-Lie 4 Snail dan Snail-Lie 8 Snail pada posisi sudut *nozzle* 0°

mendapatkan hasil tertinggi. Hasil rpm ke-2 jenis turbin, tertinggi pada sudut *nozzle* 20° yaitu 157,5 rpm pada Turbin Snail-Lie 4 Snail dan 166,9 rpm pada Turbin Snail-Lie



8 Snail, dengan selisih rpm antara kedua turbin sebesar 9,4 rpm atau mengalami peningkatan sebesar 5,96 %. Untuk hasil rpm generator tertinggi Turbin Snail-Lie 4 Snail dan Snail-Lie 8 Snail, pada sudut nozzle 200 yaitu 1069,6 rpm pada Turbin Snail-Lie 4 Snail dan 1086,8 rpm pada Turbin Snail-Lie 8 Snail dengan selisih rpm antara kedua turbin sebesar 17,2 rpm atau mengalami peningkatan sebesar 1,6 %.

Gambar 21. Grafik Perbandingan Nilai rpm Turbin dan Nilai rpm Generator Turbin Snail-Lie 4 Snail dan Turbin Snail-Lie 8 Snail pada Posisi Nozzle 0°

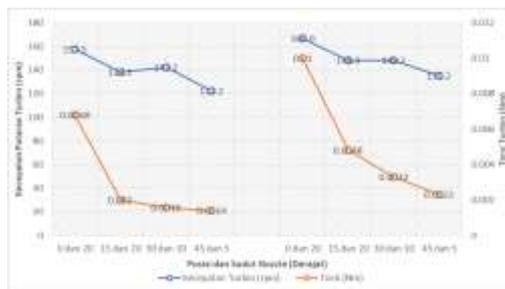
4.8 Perbandingan Torsi Turbin Snail-Lie 4 snail dan 8 Snail

Perbandingan torsi turbin Snail-Lie 4 Snail dan 8 Snail dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Perbandingan Torsi Turbin Snail-Lie 4 dan 8 Snail

Tipe Turbin	Rpm Turbin	Torsi Turbin	Beban Lampu 2.5 Volt		
			V	I	P
Turbin Snail-Lie 4 Snail	157,5	0,0068	0,586	0,193	0,113
	138,1	0,002	0,216	0,136	0,029
	142,2	0,0016	0,198	0,122	0,024
	122,2	0,0014	0,164	0,116	0,019
Turbin Snail-Lie 8 Snail	166,9	0,01	0,707	0,268	0,189
	148,3	0,0048	0,410	0,184	0,075
	148,2	0,0033	0,312	0,168	0,052
	135,2	0,0023	0,223	0,147	0,032

Dari tabel diatas maka dapat dibuatkan



grafik sebagai berikut:

Gambar 22. Grafik Hubungan Kecepatan Turbin dengan Torsi pada Snail 4 dan 8

Pada Gambar 22 diketahui bahwa nilai kecepatan putaran turbin dan torsi generator akan berubah tergantung dari posisi peletakan nozzle dan sudut nozzle.

Pada pengujian dan pengukuran kecepatan putaran turbin, torsi, dan daya generator memiliki hasil yang berubah-ubah sesuai dengan posisi dan sudut nozzle. Sehingga hubungan kecepatan putaran turbin dengan torsi turbin pada Gambar 22 adalah semakin besar kecepatan yang dihasilkan, semakin besar daya yang dihasilkan dan semakin besar juga torsi yang didapatkan. Sehingga nilai torsi dan kecepatan putaran turbin yang optimal berada pada Turbin Snail-Lie 8 Snail pada posisi dan sudut nozzle 0° dan 20°.

4.9 Perhitungan Efisiensi Sistem Prototipe PLTMH

Mencari perhitungan efisiensi turbin harus terlebih dahulu mencari daya hidrolisis dari pompa berikut rumus yang digunakan

Perhitungan daya hidrolisis

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,00064}{3,14 \times r^2}$$

$$V = \frac{0,00064}{3,14 \times 0,011^2}$$

$$V = 1,683 \text{ m/s}$$

Maka nilai H adalah

$$H = \frac{V^2}{2g}$$

$$H = \frac{1,683^2}{2(9,81)}$$

$$H = 0,144 \text{ m}$$

Maka daya masukan adalah

$$P = \rho \times Q \times g \times H$$

$$P = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,00064 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\times 0,144 \text{ m}$$

$$P = 0,91 \text{ Watt}$$

1. Efisiensi turbin 4 snail pada posisi optimal:

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{0,113}{0,91} \times 100 \%$$

Efisiensi= 14,6 %

2. Efisiensi turbin 8 snail pada posisi optimal:

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{0,189}{0,91} \times 100 \%$$

Efisiensi= 19,7 %

5. Simpulan

1. Pada pompa Shimizu yang memiliki debit air 0,00064 m/s, turbin Snail Lie 4 Snail menghasilkan rpm yang semakin tinggi, pada saat posisi *nozzle* 0° dan sudut *nozzle* 20° dengan 157,5 rpm pada putaran turbin dan 1086,8 rpm pada putaran generator, dengan hasil tegangan *output* dan arus *output* generator yaitu sebesar 0,586 Volt; 0,193 Ampere, dan Daya 0,113 VA. Nilai torsi yang dihasilkan yaitu sebesar 0,0068 Nm pada posisi *nozzle* 0° dan sudut *nozzle* 20°.
2. Pada pompa Shimizu yang memiliki debit air 0,00064 m/s, turbin Snail-Lie 8 Snail menghasilkan rpm yang semakin tinggi, seperti pada saat posisi *nozzle* 0° dan sudut *nozzle* 20° dengan 166,9 rpm pada putaran turbin dan 1086,8 rpm pada putaran generator dengan hasil tegangan *output* dan arus *output* generator yaitu sebesar 0,707 Volt; 0,268 Ampere, dan Daya 0,189 VA. Nilai torsi yang dihasilkan yaitu sebesar 0,0108 Nm pada posisi *nozzle* 0° dan sudut *nozzle* 20°.
3. Dengan memberikan perlakuan yang sama pada kedua turbin yaitu debit air sebesar 0,00064 m/s maka karakteristik kinerja dari kedua turbin menghasilkan putaran kecepatan turbin, torsi, daya generator, tegangan dan arus beban pada sudut *nozzle* 20°, dengan posisi *nozzle* 0°. Dari keseluruhan variabel pengujian, Turbin Snail-Lie 8 Snail memiliki hasil yang optimal di keseluruhan pengujian dibandingkan dengan Turbin Snail-Lie 4 Snail, hal ini

dikarenakan jumlah snail akan memengaruhi kinerja turbin, sebab fungsi snail sebagai penjebak air agar dapat dijadikan daya dorong turbin ketika berotasi. Hasil rpm mengalami peningkatan sebesar 5,96 %, sedangkan untuk putaran generator mengalami peningkatan sebesar 1,6 %

6. Daftar Pustaka

- [1]. N. S. Kumara, W. G. Ariastina, I. W. Sukerayasa and I. A. D. Giriantari, "On the potential and progress of renewable electricity generation in Bali," 2014 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering(ICITEE), Yogyakarta, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICITEED.2014.7007944.
- [2]. Kumara, D. P. D. Suparyawan, W. G. Ariastina, W. Sukerayasa and I. A. D. Giriantari, "Microhydro powerplant for rural area in Bali to generate green and sustainable electricity," 2014 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS), Kuta, 2014, pp. 113-117, doi: 10.1109/ICSGTEIS.2014.7038741.
- [3]. SUPARYAWAN, DPD; KUMARA, INS; ARIASTINA, Wayan G. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro Di Desa Sambangan Kabupaten Buleleng Bali. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, [S.l.], v. 12, n. 2, dec. 2013. ISSN 2503-2372.
- [4]. Putu Diana Sari, I. N. S. Kumara, The Development of Jatiluwih Micro-Hydro Power Plants To Support Tourism Destinations, International Student Conference on Electrical and Computer Engineering (ISCECE 2018), p 9-14, Bali, Indonesia 2018
- [5]. Dimiyati, A.M., 2015. Studi Kelayakan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Desa Setren Kecamatan Slogoimo Kabupaten Wonogiri. Emitor: Jurnal Teknik Elektro, 15(2), pp.1-10.
- [6]. Jasa, L. 2018. Desain Turbin Model Nest-Lie untuk Mikro Hidro.

Majalah Ilmiah Teknologi Elektro:
Vol.17, No.02.

- [7]. Apriansyah, F. 2016. Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) Pada Pipa Saluran Pembuangan Air Hujan Vertikal. e-Proceeding of Engineering : Vol.3, No.1.
- [8]. Jasa, L. 2017. Mikro Hidro; Strategi Memanfaatkan Energi Murah dan Ramah Lingkungan. Yogyakarta : Teknosain.